

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-36814

(43) 公開日 平成9年(1997)2月7日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 10/22			H 0 4 B 9/00	A
10/00			G 0 2 F 1/35	5 0 1
G 0 2 F 1/35	5 0 1		H 0 1 S 3/07	
H 0 1 S 3/07				

審査請求 未請求 請求項の数7 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-201696

(22) 出願日 平成7年(1995)7月14日

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 福島 大

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

(72) 発明者 落合 俊宏

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

(72) 発明者 大越 春喜

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

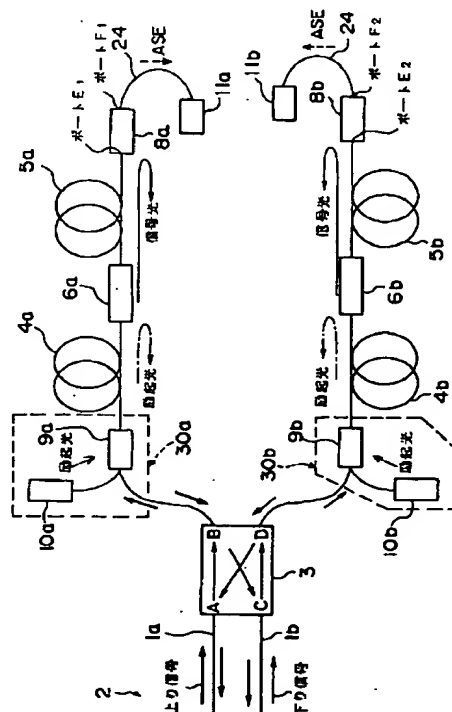
(74) 代理人 弁理士 五十嵐 清

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 1つの伝送路で上りと下りの両信号を伝送する光通信システムに適用可能で、伝送用の光ファイバの波長分散と伝搬損失を補償できる光増幅器を提供する。

【解決手段】 第1、第2、第3、第4のポートA、B、C、Dを備えた光サーキュレータ3を設け、第2、第4のポートB、Dにそれぞれ、励起光導入手段30a、30b、エルビウムドープファイバ(EDF)4a、4b、励起光反射体6a、6b、分散補償光ファイバ(DCF)5a、5b、光反射手段8a、8bを順に接続する。上り信号は第2のポートB→EDF4a→DCF5a→DCF5a→EDF4aの順に往復伝搬させ、下り信号は第4のポートD→EDF4b→DCF5b→DCF5b→EDF4bの順に往復伝搬させ、各信号毎にDCFによる分散補償とEDFによる光増幅とを効率的に行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1、第 2、第 3、第 4 のポートを備えて第 1 のポートに入射する光が第 2 のポートから、第 2 のポートに入射する光が第 3 のポートから、第 3 のポートに入射する光が第 4 のポートから、第 4 のポートから入射する光が第 1 のポートからそれぞれ出射される光サーキュレータを有し、前記光サーキュレータの第 2 のポートには第 1 のポートから入射して第 2 のポートから出射する信号光を増幅するための第 1 の光増幅用ファイバの入射端側が接続され、該光増幅用ファイバの出射端側には負の分散特性を有する第 1 の分散補償光ファイバの入射端側が接続され、該分散補償光ファイバの出射端側には該分散補償光ファイバからの出射光を反射して該分散補償光ファイバに戻す第 1 の光反射手段が設けられており、一方、前記光サーキュレータの第 4 のポートには前記第 3 のポートから入射して第 4 のポートから出射する信号光を増幅するための第 2 の光増幅用ファイバの入射端側が接続され、該光増幅用ファイバの出射端側には負の分散特性を有する第 2 の分散補償光ファイバの入射端側が接続され、該分散補償光ファイバの出射端側には該分散補償光ファイバからの出射光を反射して該分散補償光ファイバに戻す第 2 の光反射手段が設けられていることを特徴とする光増幅器。

【請求項 2】 分散補償光ファイバと光反射手段との間には少なくとも光増幅用ファイバから放出される自然放出光を遮断して信号光を透過する光フィルタが介設されていることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 3】 光増幅用ファイバと分散補償光ファイバとの間には少なくとも光増幅用ファイバから放出される自然放出光を遮断して信号光を透過する光フィルタが介設されていることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 4】 光増幅用ファイバの入射端側には光分岐手段を介して励起光源からの励起光を光増幅用ファイバに導く励起光導入手段が設けられており、光増幅用ファイバと分散補償光ファイバとの間には光増幅用ファイバを通して出射される励起光のみを該光増幅用ファイバ側に反射する励起光反射体が介設されていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 又は請求項 3 記載の光増幅器。

【請求項 5】 光反射手段は、光増幅用ファイバを通して分散補償光ファイバの出射端側から出射される光のうち少なくとも光増幅用ファイバから放出される自然放出光を遮断して信号光を透過する濾波部品を有する信号光反射モジュールとしたことを特徴とする請求項 1 又は請求項 4 記載の光増幅器。

【請求項 6】 光反射手段は、光増幅用ファイバを通して分散補償光ファイバの出射端側から出射される光のうち光増幅用ファイバから放出される自然放出光を前記分散補償光ファイバから外れる方向に反射して信号光を透

過する自然光反射部品を有しており、該自然光反射部品で反射した自然放出光を取り出す自然放出光取り出し手段が設けられていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 4 記載の光増幅器。

【請求項 7】 自然光反射部品を透過した信号光の一部を分岐して取り出す信号光取り出し手段が設けられていることを特徴とする請求項 6 記載の光増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバや半導体レーザの波長分散を補償する光ファイバを備えた光増幅器に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体レーザ等の送信器からの光をパルス信号で変調し、零分散光ファイバ（シングルモード光ファイバ）に入射させ、その光ファイバを伝送路として用いて、例えば波長 1550nm での長距離高速通信を行う検討が行われている。

【0003】ところで、光ファイバは、通常、石英系ガラスにより形成されており、この石英系ガラスの屈折率は、光の波長が長いほど小さくなる。そのため、光ファイバは、周知の光の材料分散に起因して、光ファイバを伝搬する光波の波長が長いほど、その光の伝搬速度が速くなり、光波の波長が短いほど、その光の伝搬速度が遅くなる、いわゆる正の分散特性（波長分散）を有することが知られている。

【0004】このような分散特性を有する光ファイバに、一般に、中心波長に対してある程度広がりを持つ半導体レーザの光を入射させた場合は、その入射光のパルス幅に比べて、光ファイバを伝搬した後の出射光のパルス幅が広がってしまい、そのままでは出射光の識別が困難となる。そこで、例えば図 6 に示すように、零分散光ファイバの分散特性を補償（分散補償）する分散補償光ファイバ 5 を備えた光通信システムが提案されている。

【0005】この光通信システムは、1.3  $\mu$ m シングルモード光ファイバ 1a、1b とで形成した 1 つの伝送路 2 に、分散補償光ファイバ 5 を介設し、この伝送路 2 に、光合分波器 21a、21b を介して、送信器 26a、26b と受信器 27a、27b を接続して形成されている。この光通信システムは、DDM: Direction Division Multiplexing, TCM: Time Compression Multiplexing, WDM: Wavelength Division Multiplexing 等を用いて、送信器 26a からの波長  $\lambda = 1.55 \mu$ m の上り信号を受信器 27b によって受信する動作と、送信器 26b からの下り信号を受信器 27b によって受信する動作の両方を行うようにしている。

【0006】なお、分散補償光ファイバ（DCF）5 は、光ファイバの光を伝搬する部分であるコアの屈折率分布を特殊な分布構造として形成されており、この構造

## 3

分散により、光波の伝搬速度を、波長が長いほど遅く、短いほど速くした、いわゆる負の分散特性を有する光ファイバであり、図 6 の光通信システムのように、分散補償光ファイバ 5 を光通信システムに介設すれば、分散補償光ファイバ 5 の負の分散特性によりシングルモード光ファイバ 1 a, 1 b の正の波長分散を補償することができる。そのため、図 6 に示すような光通信システムにおいては、シングルモード光ファイバ 1 a, 1 b から出射される光のパルス幅が広がることを防止できる。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、分散補償光ファイバ 5 は、通常の単一モードファイバに比べて伝搬損失が大きいため、分散補償光ファイバ 5 を光通信システムに介設すると、光のパワーが低下してしまうといった問題が生じ、この光パワーの減衰を補うためには、分散補償光ファイバ 5 の入射側や出射側に光増幅の何らかの手段を設ける必要が生じる。この光増幅手段の代表的なものとしては、光増幅機能を有するエルビウムドープファイバ (EDF) を備えた光増幅器が挙げられる。

【0008】図 7 には、エルビウムドープファイバを用いた従来の光増幅器の一例が示されており、この光増幅器は、エルビウムドープファイバ 4 と、エルビウムドープファイバ 4 にドープされているエルビウムを励起させるための励起用光源 10 と、WDM (光合分波器) カプラ 9 を有しており、また、エルビウムドープファイバ 4 の両端側には、反射抑圧のための光アイソレータ 23 が設けられている。

【0009】このように、従来の光増幅器はアイソレータ 23 を設けて構成されているために、この光増幅器においては、上り若しくは下りの一方のみにしか光の伝搬および増幅を行うことができない。そのため、従来の光増幅器を、図 6 に示したような、上りと下りの両方向の光伝送を 1 つの伝送路を用いて伝送させる光通信システムに適用させることは困難であり、したがって、従来は上記のような光通信システムの波長分散と伝搬損失を共に補償することはできなかった。

【0010】本発明は上記従来の課題を解決するためになされたものであり、その目的は、1 つの伝送路を用いて上り信号と下り信号の両方向の信号光伝送を行う光通信システムに適用することが可能であり、その光通信システムの波長分散と伝搬損失とを共に確実に補うことができる光増幅器を提供することにある。

## 【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明は次のような構成により、課題を解決するための手段としている。すなわち、本発明は、第 1、第 2、第 3、第 4 のポートを備えて第 1 のポートに入射する光が第 2 のポートから、第 2 のポートに入射する光が第 3 のポートから、第 3 のポートに入射する光が第 4 のポ

## 4

トから、第 4 のポートから入射する光が第 1 のポートからそれぞれ出射される光サーキュレータを有し、前記光サーキュレータの第 2 のポートには第 1 のポートから入射して第 2 のポートから出射する信号光を増幅するための第 1 の光増幅用ファイバの入射端側が接続され、該光増幅用ファイバの出射端側には負の分散特性を有する第 1 の分散補償光ファイバの入射端側が接続され、該分散補償光ファイバの出射端側には該分散補償光ファイバに前記第 1 の励起光源からの励起光を導く光分岐手段を介して接続され、該光増幅用ファイバの出射端側には負の分散特性を有する第 1 の分散補償光ファイバの入射端側が接続され、該分散補償光ファイバの出射端側には該分散補償光ファイバからの出射光を反射して該分散補償光ファイバに戻す第 1 の光反射手段が設けられており、一方、前記光サーキュレータの第 4 のポートには前記第 3 のポートから入射して第 4 のポートから出射する信号光を増幅するための第 2 の光増幅用ファイバの入射端側が接続され、該光増幅用ファイバの出射端側には負の分散特性を有する第 2 の分散補償光ファイバの入射端側が接続され、該分散補償光ファイバの出射端側には該分散補償光ファイバからの出射光を反射して該分散補償光ファイバに戻す第 2 の光反射手段が設けられていることを特徴として構成されている。

【0012】また、前記分散補償光ファイバと光反射手段との間には少なくとも光増幅用ファイバから放出される自然放出光を遮断して信号光を透過する光フィルタが介設されていること、前記光増幅用ファイバと分散補償光ファイバとの間には少なくとも光増幅用ファイバから放出される自然放出光を遮断して信号光を透過する光フィルタが介設されていること、前記光増幅用ファイバの入射端側には光分岐手段を介して励起用光源からの励起光を光増幅用ファイバに導く励起光導入手段が設けられており、光増幅用ファイバと分散補償光ファイバの間には光増幅用ファイバを通して出射される励起光のみを該光増幅用ファイバ側に反射する励起光反射体が介設されていることも本発明の特徴的な構成である。

【0013】さらに、前記光反射手段は、光増幅用ファイバを通して分散補償光ファイバの出射端側から出射される光のうち少なくとも光増幅用ファイバから放出される自然放出光を遮断して信号光を透過する濾波部品を有する信号光反射モジュールとしたこと、前記光反射手段は、光増幅用ファイバを通して分散補償光ファイバの出射端側から出射される光のうち光増幅用ファイバから放出される自然放出光を前記分散補償光ファイバから外れる方向に反射し、信号光を透過する自然光反射部品を有しており、該自然光反射部品で反射した自然放出光を取り出す自然放出光取り出し手段が設けられていること、前記自然光反射部品を透過した信号光の一部を分岐して取り出す信号光取り出し手段が設けられていることも本発明の特徴的な構成である。

5

【0014】上記構成の本発明において、例えば、光サーキュレータの第1のポートには上り信号光が入射し、第3のポートには下り信号光が入射するように光増幅器が伝送用の光ファイバ等に接続される。そして、光サーキュレータの第1のポートから入射した信号光（上り信号光）は第2のポートから出射して第1の光増幅用ファイバを伝搬し、この光増幅用ファイバによって増幅されて第1の分散補償光ファイバに入射する。そして、この分散補償光ファイバによって伝送用の光ファイバの波長分散の一部が補償されて分散補償光ファイバから出射する。

【0015】この出射光は、第1の光反射手段によって反射して、再び第1の分散補償光ファイバに戻り、第1の分散補償光ファイバを逆行することにより残りの波長分散が補償され、この状態で前記第1の光増幅用ファイバに入射し、光増幅用ファイバを逆行しながら増幅されて光サーキュレータの第2のポートに戻る。

【0016】このように、上り信号光は、第1の分散補償光ファイバを往復することによって効率的に波長分散補償され、また、第1の分散補償光ファイバを伝搬する前後に第1の光増幅用ファイバを往復することにより増幅され、それにより、分散補償光ファイバを通るときに伝搬損失および伝送用の光ファイバの伝搬損失が効率的に補償される。そして、第2のポートに戻ってきた上り信号光は、第2のポートから光サーキュレータに入射して第3のポートから出射し、伝送用の光ファイバを伝送していく。

【0017】一方、第3のポートに入射した信号光（下り信号光）は、光サーキュレータの第3のポートから入射して第4のポートから出射し、第2の光増幅用ファイバを通った後に、第2の分散補償光ファイバに入射する。そして、第2の分散補償光ファイバから出射した後、この出射光が第2の光反射手段によって反射して、第2の分散補償光ファイバに戻り、この分散補償光ファイバを逆行した後、前記第2の光増幅用ファイバを逆行して、第4のポートに戻る。

【0018】このように、下り信号光が第2の光増幅用ファイバと第2の分散補償光ファイバを往復するときには、前記上り信号と同様に、分散補償光ファイバによって波長分散が効率的に補償され、光増幅用ファイバによって伝搬損失が効率的に補償される。そして、光サーキュレータの第4のポートに戻った光は、第4のポートから光サーキュレータに入射して第1のポートから出射し、伝送用の光ファイバを伝送していく。

【0019】以上のように、本発明においては、従来の光増幅器に用いたアイソレータを必要としないことにより、1つの伝送路で上りと下りの両信号の光伝送を行う光通信システムへの適用が可能となり、しかも、上り信号も下り信号もそれぞれ、第1、第2の分散補償光ファイバによって波長分散補償が行われ、第1、第2の光増

6

幅用ファイバによって伝搬損失が補償されることによって上記課題が解決される。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態例を実施例を用いて図面に基づいて説明する。なお、本実施の形態例の説明において、従来例と同一名称部分には同一符号を付し、その重複説明は省略する。図1には、本発明に係る光増幅器の第1実施形態例の要部構成が、図6に示した光通信システムのシングルモード光ファイバ1a、1bと接続状態で示されている。なお、図1には示されていないが、これらのシングルモード光ファイバ1a、1bには、それぞれ、図6に示した光通信システムと同様に、光合分波器21a、21bを介して、送信器26a、26b、受信器27a、27bが接続されており、この光通信システムにおいても、送信器26aからの上り信号と送信26bからの下り信号とを共にシングルモード光ファイバ1a、1bを介して伝送するようになっている。

【0021】図1に示すように、本実施形態例の光増幅器は、第1、第2、第3、第4のポートA、B、C、Dを備えた光サーキュレータ3を有して構成されている。また、この光サーキュレータ3は、第1のポートAに入射する光が第2のポートBから出射し、第2のポートBに入射する光が第3のポートCから出射し、第3のポートCに入射する光が第4のポートDから出射し、第4のポートDから入射する光が第1のポートAから出射されるように構成されており、図1においては、第1のポートAにシングルモード光ファイバ1aが接続され、第3のポートCにシングルモード光ファイバ1bが接続されている。

【0022】光サーキュレータ3の第2のポートBには、第1のポートAから入射して第2のポートBから出射する信号光を増幅するための、第1の光増幅用ファイバとしてのエルビウムドープファイバ(EDF)4aの入射端側が、励起光導入手段30aを介して接続されており、このエルビウムドープファイバ4aの出射端側には、励起光反射体6aを介して分散補償光ファイバ(BCF)5aの入射端側が接続されている。分散補償光ファイバ5aの出射端側には、分散補償光ファイバ5aからの出射光を反射して分散補償光ファイバ5aに戻す第1の光反射手段8aの入射ポートE<sub>1</sub>が接続されている。光反射手段8aの出射ポートF<sub>1</sub>には、光ファイバ24を介して受光器11aが接続されている。

【0023】一方、光サーキュレータ3の第4のポートDには、第3のポートCから入射して第4のポートから出射する信号光を増幅するための、第2の光増幅用ファイバとしてのエルビウムドープファイバ(EDF)4bの入射端側が、励起光導入手段30bを介して接続されており、このエルビウムドープファイバ4bの出射端側には、励起光反射体6bを介して、分散補償光ファイバ5bが接続されている。分散補償光ファイバ5bの出射端

側には、分散補償光ファイバ5 bからの出射光を反射して分散補償光ファイバ5 bに戻す第2の光反射手段8 bの入射ポートE<sub>2</sub>が接続されており、光反射手段8 bの出射ポートF<sub>2</sub>には、光ファイバ24を介して受光器11 bが接続されている。

【0024】前記励起光導入手段30 a, 30 bは、それぞれ、光分岐手段としてのWDMカブラ9 a, 9 bと、励起用光源10 a, 10 bを有して構成されている。そして、WDMカブラ9 a, 9 bの分岐端側に、それぞれ、励起用光源10 a, 10 bと、光サーキュレータ3の第2のポートB、第4のポートDが接続されており、WDMカブラ9 a, 9 bの合流端側には、それぞれ、エルビウムドープファイバ4 a, 4 bが接続されている。この励起光導入手段30 a, 30 bは、それぞれ、WDMカブラ9 a, 9 bを介して、励起用光源10 a, 10 bからの励起光をエルビウムドープファイバ4 a, 4 bに導くものである。

【0025】前記励起光反射体6 a, 6 bは、それぞれ、エルビウムドープファイバ4 a, 4 bと通って出射される励起光のみをエルビウムドープファイバ4 a, 4 b側に反射するものである。

【0026】前記第1、第2の光反射手段8 a, 8 bは、それぞれ、図2に示すように、レンズ16、15、光狭帯域フィルタ13、全反射膜14を有しており、モジュール化されている。光狭帯域フィルタ13は、前記各エルビウムドープファイバ4 a, 4 bを通して各分散補償光ファイバ5 a, 5 bの出射端側からそれぞれ出射される光のうち、信号光がエルビウムドープファイバ4 a, 4 bを通るときにエルビウムドープファイバ4 a, 4 bから放出される自然放出光(ASE: Amplified Spontaneous Emission)を分散補償光ファイバ5 a, 5 bから外れる方向に反射し、信号光を透過する自然光反射部品として機能するものである。

【0027】本実施形態例では、分散補償光ファイバ5 a, 5 bからの出射光がレンズ16によって光狭帯域フィルタ13に結合するようになっており、その出射光のうち、自然放出光が光狭帯域フィルタ13により、レンズ15側に反射し、レンズ15によって光ファイバ24に結合されるようになっている。なお、光ファイバ24は、光狭帯域フィルタ13で反射した自然放出光を取り出す自然放出光取り出し手段として機能するようになっている。

【0028】光狭帯域フィルタ13の信号光透過側(図の右側)に設けられている全反射膜14は、この全反射膜14に入射した光を全反射する機能を有しており、光狭帯域フィルタ13を透過して全反射膜14に入射した信号光を光狭帯域フィルタ13側に反射する。なお、全反射膜14によって反射した信号光は、光狭帯域フィルタ13を透過するために、この信号光は光狭帯域フィルタ13を透過してレンズ16側に進み、レンズ16によって、前記各分散補償光ファイバ5 a, 5 bに結合されて、分散補償光ファイバ5 a, 5 bをそれぞれ逆行するようになってい

る。

【0029】本実施形態例は以上のように構成されており、次に、その動作について説明する。図1に示すように、シングルモード光ファイバ1 aから上り信号がサーキュレータ3の第1のポートAに入射すると、この上り信号光はサーキュレータ3の第2のポートBから出射して励起光導入手段30 aの方に伝搬し、励起光導入手段30 aのWDMカブラ9 aを介してエルビウムドープファイバ4 aに入射する。このとき、WDMカブラ9 aを介して、励起用光源10 aからの励起光が信号光と共にエルビウムドープファイバ4 aに入射し、この励起光によってエルビウムドープファイバ4 aにドープされているエルビウムが励起され、それにより、エルビウムドープファイバ4 aを伝搬する信号光(上り信号光)が増幅される。そして、この増幅された信号光は、励起光反射体6 aを透過して分散補償光ファイバ5 a側に伝搬する。

【0030】なお、このように、信号光がエルビウムドープファイバ4 aを通して増幅されるときには、周知のように、光増幅用ファイバから自然放出光が放出され、この自然放出光も信号光と共に、励起光反射体6 aを介して分散補償光ファイバ5 a側に伝搬する。

【0031】一方、エルビウムドープファイバ4 aを伝搬する励起光は、エルビウムドープファイバ4 aによって吸収されることにより、その強度が徐々に小さくなって励起光反射体6 a側に伝搬し、励起光反射体6 aによって反射して、再び、エルビウムドープファイバ4 aに戻る。そして、エルビウムドープファイバ4 aを逆行して励起光導入手段30 a側に伝搬し、このときにも、エルビウムドープファイバ4 aに吸収されながらその強度が徐々に小さくなって伝搬していく。このように、励起光がエルビウムドープファイバ4 aを往復伝搬することにより、エルビウムドープファイバ4 aの長手方向の励起光強度分布は、励起光がエルビウムドープファイバ4 aを一方向にのみ伝搬したときよりも均一に近くなる。

【0032】励起光反射体6 aを介して分散補償光ファイバ5 aに入射した信号光と自然放出光は、共に、分散補償光ファイバ5 aを伝搬し、このとき、前記シングルモード光ファイバ1 aの正の波長分散が分散補償光ファイバ5 aによって一部補償され、光反射手段8 aに入射する。そして、図2に示すように、レンズ16を介して、信号光と自然放出光(ASE)とが光狭帯域フィルタ13に入射し、そうすると、信号光のみが光狭帯域フィルタ13を透過して全反射膜14側に進み、自然放出光は光狭帯域フィルタ13で反射して、レンズ15を介し、光ファイバ24に結合される。この自然放出光(ASE)は、図1に示すように、光ファイバ24を通して受光器11 aにより受信される。

【0033】一方、光狭帯域フィルタ13を透過して全反射膜14に入射した信号光は、全反射膜14で反射し、光狭帯域フィルタ13、レンズ16を介して、再び分散補償光フ

ファイバ 5 a に戻り、分散補償光ファイバ 5 a を逆行していき、このときに、前記シングルモード光ファイバ 1 a の残りの波長分散が補償される。そして、この逆行する戻り光は、波長分散が補償された状態で、励起光反射体 6 a を介して再びエルビウムドープファイバ 4 a に入射し、エルビウムドープファイバ 4 a を逆行し、このとき、エルビウムドープファイバ 4 a によって増幅される。なお、この光増幅に際し、前記のように、エルビウムドープファイバ 4 a の長手方向の励起光強度分布が均一に近い状態であるため、信号光がエルビウムドープファイバを逆行するときの光増幅も効率良く行われる。

【0034】以上のように、信号光は、エルビウムドープファイバ 4 a と分散補償光ファイバ 5 a とを往復伝搬することにより、波長分散と伝搬損失とが共に補償された状態となり、励起光導入手段 30 a を介して、光サーキュレータ 3 の第 2 のポート B に戻る。そして、光サーキュレータ 3 の第 3 のポート C から出射して、シングルモード光ファイバ 1 b に入射し、シングルモード光ファイバ 1 b を伝搬する。

【0035】一方、下り信号は、シングルモード光ファイバ 1 b を伝搬して光サーキュレータ 3 の第 3 のポート C に入射し、第 3 のポート C から第 4 のポート D に伝搬して第 4 のポート D から出射される。そして、励起光導入手段 30 b の WDM カプラ 9 b を介してエルビウムドープファイバ 4 b に入射する。また、このとき、WDM カプラ 9 b を介して励起用光源 9 b からの励起光がエルビウムドープファイバ 4 b に導入され、前記上り信号光と同様に、下り信号光がエルビウムドープファイバ 4 b と通るときに増幅されて、励起光反射体 6 b を介して分散補償光ファイバ 5 b に入射する。

【0036】なお、下り信号光がエルビウムドープファイバ 4 b を通って増幅されるときにも、前記エルビウムドープファイバ 4 a による上り信号光の増幅時と同様に、自然放出光が生じ、この自然放出光も下り信号光と共に分散補償光ファイバ 5 b を伝搬し、光反射手段 8 b に入射する。また、エルビウムドープファイバ 4 b を伝搬した励起光は、前記上り信号光の伝搬動作時と同様に、励起光反射体 6 b で反射してエルビウムドープファイバ 4 b を逆行していく。

【0037】分散補償光ファイバ 5 b を伝搬して光反射手段 8 b に入射した信号光（下り信号光）と自然放出光は、前記上り信号光の動作と同様に、図 2 に示す動作が行われ、自然放出光は光ファイバ 24 を介して受光器 11 b に受信される。また、信号光は光反射手段 8 b で反射して再び分散補償光ファイバ 5 b に戻り、分散補償光ファイバ 5 b を逆行し、さらに、エルビウムドープファイバ 4 b を逆行して、光サーキュレータ 3 の第 4 のポート D に戻る。

【0038】このように、下り信号光がエルビウムドープファイバ 4 b と分散補償光ファイバ 5 b とを往復伝搬

するときにも、上り信号光がエルビウムドープファイバ 4 a と分散補償光ファイバ 5 a を往復伝搬したときと同様に、波長分散と伝搬損失の補償が行われ、この補償が行われた信号光が光サーキュレータ 3 の第 4 のポート D に入射する。そして、この下り信号光は、光サーキュレータ 3 の第 1 のポート A から出射し、シングルモード光ファイバ 1 a を伝搬していく。

【0039】本実施形態例によれば、上記のように光サーキュレータ 3 を設けて光増幅器を構成し、この光サーキュレータ 3 が従来の反射抑圧のための光アイソレータの役割を果たすことができるために、光アイソレータを省略することが可能となり、光アイソレータを設けた従来の光増幅器と異なり、1 つの伝送路で上りと下りの両信号の光伝送を行う光通信システムに適用可能な光増幅器を形成することができる。

【0040】そして、本実施形態例によれば、光サーキュレータ 3 の第 2 のポート B から出射される上り信号は、エルビウムドープファイバ 4 a と分散補償光ファイバ 5 a とを往復伝搬するようにし、光サーキュレータ 3 の第 4 のポート D から出射される下り信号は、エルビウムドープファイバ 4 b、分散補償光ファイバ 5 b を往復伝搬するようにさせるために、分散補償光ファイバ 5 a、5 b による波長分散補償および、エルビウムドープファイバ 4 a、4 b の光増幅による伝搬損失補償を共に効率良く行うことができる優れた光増幅器とすることができる。

【0041】また、本実施形態例の光増幅器は、エルビウムドープファイバ 4 a、4 b と、分散補償光ファイバ 5 a、5 b との間に、エルビウムドープファイバ 4 a、4 b を通って出射される励起光のみを反射する励起光反射体 6 a、6 b をそれぞれ設けたことにより、エルビウムドープファイバ 4 a、4 b によって吸収され、図の右側に伝搬するにつれて強度が徐々に小さくなった励起光を反射し、その反射励起光の強度は図の左側に進むにつれて徐々に小さくなるようにすることができるために、エルビウムドープファイバ 4 a、4 b の長手方向の励起光強度分布を均一に近い状態とすることができる。そのため、信号光の再吸収を抑制して励起効率の向上を図り、信号の利得を向上させることができる。

【0042】さらに、本実施形態例によれば、光反射手段 8 a、8 b をモジュール化した光部品としたことにより、光増幅器を構成する部品点数を少なくすることができ、装置の組み立ても容易となる。そして、この光反射手段 8 a、8 b に設けた光狭帯域フィルタ 13 によって、光反射手段 8 a、8 b に入射される信号光と自然放出光のうち、信号光のみを分散補償光ファイバ 5 a、5 b に戻し、一方、自然放出光は分散補償光ファイバ 5 a、5 b から外れる方向に反射して、自然放出光がエルビウムドープファイバ 4 a、4 b を往復伝搬することを防ぐことができるために、信号光の利得をさらに向上させるこ

とができる。

【0043】さらに、本実施形態例によれば、光狭帯域フィルタ13によって分散補償光ファイバ5 a, 5 bから外れる方向に反射した自然放出光を、光ファイバ24を介して受光器11 a, 11 bに入射させるために、例えば分散補償光ファイバ5 a, 5 bと光反射手段8 a, 8 bとの間に光合分波器等を設けて自然放出光を分岐させたりしなくとも、少ない部品点数で効率的に自然放出光の監視を行うことができる。

【0044】次に、本発明に係る光増幅器の第2実施形態例について説明する。この実施形態例は、上記第1実施形態例とほぼ同様に構成されており、本実施形態例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、励起光反射体6 a, 6 bを省略し、光反射手段8 a, 8 bを図3に示す構成としたことである。なお、本実施形態例の説明において、上記第1実施形態例と同一部分の重複説明は省略する。

【0045】図3に示すように、本実施形態例の光反射手段8 (8 a, 8 b) もモジュール化されており、本実施形態例に用いた光反射手段8には、入射ポートEと出射ポートF, Gとが形成されている。入射ポートE側にはレンズ16が設けられており、このレンズ16と光狭帯域フィルタ13との間に、励起光のみを反射する励起光反射体としての励起光反射膜12が介設されている。また、光狭帯域フィルタ13の出射側には、光狭帯域フィルタ13を透過した信号光の一部を透過する信号光一部透過膜18が設けられており、この信号光一部透過膜18の出射側には、レンズ19を介して光ファイバ25が設けられており、出射ポートGから引き出されている。なお、本実施形態例では、信号光一部透過膜18、レンズ19、光ファイバ25により、光狭帯域フィルタ13を透過した信号光の一部を分岐して取り出す信号光取り出し手段が形成されている。

【0046】本実施形態例は以上のように構成されており、本実施形態例でも、図1に示すように、上り信号光は、光サーキュレータ3の第1のポートAから入射して第2のポートBから出射し、上記第1実施形態例と同様に、エルビウムドープファイバ4 a、分散補償光ファイバ5 aを順に伝搬するが、本実施形態例では、エルビウムドープファイバ4 aと分散補償光ファイバ5 aとの間に励起光反射体6 aが設けられていないために、励起用光源10 aからの励起光も信号光と自然放出光と共に分散補償光ファイバ5 aを伝搬し、図3に示すように、光反射手段8 aに入射する。そして、この光がレンズ16を介して励起光反射膜12に入射し、このとき、励起光のみが励起光反射膜12で反射して、分散補償光ファイバ5 a側に戻っていく。

【0047】また、励起光反射膜12を透過した信号光と自然放出光とは、光狭帯域フィルタ13に入射し、上記第1実施形態例と同様に、自然放出光は光狭帯域フィルタ

13で反射して光ファイバ24に結合し、一方、信号光は光狭帯域フィルタ13を透過して信号光一部透過膜18に入射する。そして、信号光のうち一部の光が信号光一部透過膜18を透過し、レンズ19を介して光ファイバ25に結合し、信号光受信手段(図示せず)によって受信される。また、信号光一部透過膜18に入射した信号光のうち、残りの光は信号光一部透過膜18で反射し、光狭帯域フィルタ13、励起光反射膜12、レンズ16を順に通って分散補償光ファイバ5 aに戻っていく。

10 【0048】そして、分散補償光ファイバ5 a, エルビウムドープファイバ4 aを逆行し、上記第1実施形態例と同様に、光サーキュレータ3の第2のポートBから入射し、第3のポートCから出射して、シングルモード光ファイバ1 bを伝搬していく。

【0049】一方、光サーキュレータ3の第3のポートCから入射して第4のポートDから出射される下り信号光は、エルビウムドープファイバ4 b、分散補償光ファイバ5 bを通して光反射手段8 bに入射し、上記上り信号光と同様の動作が行われて、光サーキュレータ3の第4のポートDに戻り、第1のポートAから出射されてシングルモード光ファイバ1 aを伝搬する。

【0050】本実施形態例においても、上記のように、励起光が光反射手段8で反射し、一方、上り信号光および下り信号光がそれぞれ、エルビウムドープファイバ4 a, 4 b、分散補償光ファイバ5 a, 5 bを往復伝搬するときに、上記第1実施形態例と同様に、波長分散および伝搬損失の補償が行われ、また、自然放出光の分散補償光ファイバ5 a, 5 bから外れる方向への取り出しが行われることにより、上記第1実施形態例とほぼ同様の効果を奏することができる。

【0051】また、本実施形態例によれば、信号光取り出し手段を設けて信号光を監視するための信号光受信手段を接続したために、少ない部品点数で、効率的に信号光の監視も行うことができる。

【0052】図4には、本発明に係る光増幅器の第3実施形態例の要部構成が示されている。本実施形態例は上記第1実施形態例とほぼ同様に構成されており、本実施形態例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、励起光反射体6 a, 6 bの代わりに、少なくとも自然放出光(ASE)を遮断し、信号光を透過する光帯域通過フィルタ20を設けたことと、光反射手段8 a, 8 bを、図2に示した光狭帯域フィルタ13、レンズ15、光ファイバ24を省略して構成したことである。なお、光帯域通過フィルタ20は、自然放出光のみを遮断するフィルタとしてもよいし、自然放出光と励起光の両方を遮断するフィルタとしてもよい。

【0053】本実施形態例は以上のように構成されており、本実施形態例においては、上記実施形態例のように自然放出光や信号光の一部の取り出しおよび監視は行われないものの、それ以外の動作は上記実施形態例とほぼ



同様に行われ、上りおよび下りの各信号光がエルビウムドープファイバ4a、4bおよび分散補償光ファイバ5a、5bを往復伝搬するときに波長分散と伝搬損失の両方が行われて同様の効果を奏することができる。

【0054】なお、本発明は上記実施形態例に限定されることはなく、様々な実施の態様を採り得る。例えば、上記第3実施形態例では、光帯域通過フィルタ20をエルビウムドープファイバ4a、4bと分散補償光ファイバ5a、5bとの間に介設したが、光帯域通過フィルタ20は、分散補償光ファイバ5a、5bと光反射手段8a、8bとの間に介設しても構わない。また、光帯域通過フィルタ20を、例えば図5に示すように、光反射手段8a、8b内に設けてモジュール化しても構わない。このようにしたときは、光帯域通過フィルタ20は、少なくとも自然放出光を遮断し、信号光を透過する濾波部品として機能し、この光帯域通過フィルタ20を有する光反射手段8a、8bが信号光反射モジュールとなる。

【0055】さらに、上記第1実施形態例に用いた光反射手段8a、8bの代わりに、図5に示すように光反射手段8a、8bを設けて光増幅器を構成することもできる。このようにしたときには、自然放出光の取り出しおよび監視は行われないものの、それ以外は、上記第1実施形態例と同様に動作し、同様の効果を奏することができる。

【0056】さらに、上記第1実施形態例では、励起光反射体6a、6bをエルビウムドープファイバ4a、4bと分散補償光ファイバ5a、5bとの間に介設したが、これらの励起光反射体6a、6bを省略し、その代わりに、例えば、図2の破線に示すように、光反射手段8a、8b内に励起光反射膜12を設けて光増幅器を形成することもできるし、励起光反射膜12や励起光反射体6a、6bを分散補償光ファイバ5a、5bと光反射手段8aと8bとの間に介設して光増幅器を形成することもできる。

【0057】さらに、上記第2実施形態例では、励起光反射膜12を光反射手段8a、8b内に設けて構成したが、励起光反射膜12を光反射手段8a、8bに設ける代わりに、励起光反射膜12や励起光反射体6a、6bを分散補償光ファイバ5a、5bと光反射手段8a、8bとの間に介設して光増幅器を形成することもできるし、励起光反射膜12や励起光反射体6a、6bをエルビウムドープファイバ4a、4bと分散補償光ファイバ5a、5bとの間に介設することもできる。

【0058】このように、上記第2実施形態例において、励起光反射体6a、6bや励起光反射膜12をエルビウムドープファイバ4a、4bの出射端側に設ければ、上記第1実施形態例と同様の励起効率向上を図ることが可能となり、また、自然放出光と信号光の両方の取り出しおよび監視を行うことができる光増幅器とすることができる。

【0059】さらに、エルビウムドープファイバ4a、4bと分散補償光ファイバ5a、5bとの間に、光狭帯域フィルタ13等の自然光反射部品を設けて、この自然光反射部品によって、自然放出光をエルビウムドープファイバ4a、4bから外れる方向に反射し、その反射光を取り出すようにすることもできる。

【0060】さらに、上記実施形態例では、自然放出光取り出し手段や信号光取り出し手段をレンズおよび光ファイバを用いて構成したが、自然放出光取り出し手段や信号光取り出し手段の構成は特に限定されるものではなく、適宜設定されるものである。

【0061】さらに、上記実施形態例では、光反射手段8a、8bに設け、分散補償光ファイバ5a、5bから出射される光のうち自然放出光を反射し、信号光を透過する自然光反射部品として、光狭帯域フィルタ13を設けたが、自然光反射部品は必ずしも光狭帯域フィルタ13とするとは限らず、適宜の部品により形成されるものである。

【0062】さらに、図5に示したように、光反射手段8a、8bに設けられ、分散補償光ファイバ5a、5bから出射される光のうち、少なくとも自然放出光を遮断し、信号光を透過する濾波部品として、光帯域通過フィルタ20を設ける代わりに、この濾波部品を光帯域通過フィルタ20以外の適宜の光部品によって構成することもできる。

【0063】さらに、上記実施形態例では、光増幅用ファイバとしてエルビウムドープファイバ4a、4bを設けて構成したが、光増幅用ファイバは必ずしもエルビウムドープファイバ4a、4bにより形成するとは限らず、分散補償光ファイバ5a、5bやシングルモード光ファイバ1a、1bによる光強度の減衰を補うことができるように光増幅可能な光ファイバであればよく、例えばこの光増幅器を適用する光る通信システムに合わせる等して増幅率等が適宜設定されるものである。

【0064】さらに、本発明の光増幅器は、励起光反射体6a、6b、励起光反射膜12、光狭帯域フィルタ13、光帯域通過フィルタ20、信号光一部透過膜18およびレンズ15、16、19等を省略し、光サーキュレータ3、励起光導入手段30a、30b、エルビウムドープファイバ4a、4b、および、分散補償光ファイバ5a、5bからの出射光を反射して分散補償光ファイバ5a、5bに戻す光反射手段のみを設けて構成することもできる。ただし、励起光を反射したり、自然放出光を反射又は遮断する機能を有するフィルタ13、20等を設けることにより、エルビウムドープファイバ4a、4bによる励起効率の向上や、自然放出光の遮断等による信号光の増幅利得を向上させることができるために、励起光反射手段や自然放出光を遮断するための手段等を設けることが好ましい。

【0065】さらに、上記実施の形態例では、光サーキュレータ3の第1のポートAから上り信号を入射し、第



3のポートCから下り信号を入射するように、光増幅器を接続する例について述べたが、その逆に、第1のポートAから下り信号を、第3のポートCから上り信号を入射するように光増幅器を接続してもよい。

#### 【0066】

【発明の効果】本発明によれば、光サーキュレータの第2のポートと第4のポートとに、それぞれ、光増幅用ファイバと分散補償光ファイバを接続したことにより、従来の光増幅器に用いた光アイソレータを省略することが可能となる。しかも、光アイソレータを設けたときと異なり、信号光を光増幅用ファイバおよび分散補償光ファイバを往復伝搬できるようにすることが可能となり、本発明の光増幅器は、1つの伝送路を用いて上りと下りの両信号光の光伝送を行う光通信システムに適用することができる。

【0067】また、本発明によれば、例えば光サーキュレータ3の第1のポートに上り信号光を入射させ、第2のポートから出射させて、第1の光増幅用ファイバ→第1の分散補償光ファイバと伝搬させ、第1の光反射手段で反射して、再び第1の分散補償光ファイバ→第1の光増幅用ファイバと伝搬させることにより、上り信号光の波長分散および伝搬損失を非常に効率良く補償することができる。また、同様に、本発明の光増幅器を用いる光サーキュレータの第3のポートから下り信号光を入射させて第4のポートから出射させ、第2の光増幅用ファイバと第2の分散補償光ファイバとを往復伝搬させることにより、上り信号光と同様に、波長分散および伝搬損失を効率良く補償することができる。

【0068】そして、1つの伝送路を用いて上りと下りの両信号光による光通信を共に行う光通信システムに本発明の光増幅器を介設することにより、上り信号光と下り信号光とを個別に、しかも、同様に効率的に波長分散補償し、伝搬損失補償することが可能となり、この光増幅器を用いて、上り信号と下り信号の両方の通信を行なえる高速、大容量の光通信システムの構築を図ることができる。

【0069】特に、本発明の光増幅器において、少なくとも光増幅用ファイバから放出される自然放出光を遮断し、信号光を透過するフィルタを、分散補償光ファイバと光反射手段との間に設けたり、光増幅用ファイバと分散補償光ファイバとの間に設けたりすることにより、自然放出光が光増幅用ファイバを往復して増幅することを抑制できるために、光サーキュレータ側に戻る自然放出光を小さくすることが可能となり、信号光の利得を向上させることができる。

【0070】さらに、光増幅用ファイバの入射端側には光分岐手段を介して励起用光源からの励起光を光増幅用ファイバに導く励起光導入手段が設けられており、光増幅用ファイバと分散補償光ファイバとの間には光増幅用ファイバを通して出射される励起光のみを該光増幅用フ

ファイバ側に反射する励起光反射体が介設されている本発明によれば、光増幅用ファイバを通して出射される励起光を励起光反射体によって光増幅用ファイバ側に反射することにより、光増幅用ファイバの長手方向の励起光強度分布を均一に近づけることができるために、励起効率を向上させることが可能となり、光増幅用ファイバによる光増幅効率を向上させることができる。

【0071】さらに、前記光反射手段は光増幅用ファイバを通して分散補償光ファイバの出射端側から出射される光のうち少なくとも光増幅用ファイバから放出される自然放出光を遮断し、信号光を透過する濾波部品を有する信号光反射モジュールとした本発明によれば、前記光フィルタを設けた本発明と同様に、濾波部品によって自然放出光を遮断して信号光の利得を向上させることが可能となる。また、この構成の本発明によれば、濾波部品を光反射手段に設けて信号光反射モジュールとすることにより、光増幅器を構成する光部品の部品点数を少なくすることができるために、光増幅器の組み立てを容易とすることができるし、接続に伴う光損失を抑制することが可能となり、光損失の小さいより優れた光増幅器とすることができる。

【0072】さらに前記光反射手段は光増幅用ファイバを通して分散補償光ファイバの出射端側から出射される光のうち光増幅用ファイバから放出される自然放出光を前記分散補償光ファイバから外れる方向に反射し、信号光を透過する自然光反射部品を有しており、該自然光反射部品で反射した自然放出光を取り出す自然放出光取り出し手段が設けられている本発明によれば、自然放出光を分散補償光ファイバから外れる方向に反射して取り出すことにより、前記光フィルタ等を設けた構成した光増幅器と同様に、信号光の利得を向上させることが可能となり、さらに、取り出した自然放出光を光監視手段等によって監視することにより、少ない部品点数で効率的に自然放出光の監視を行える光通信システムを構築することができる。

【0073】さらに、自然光反射部品を透過した信号光の一部を分岐して取り出す信号光取り出し手段が設けられている本発明によれば、信号光取り出し手段によって取り出した信号光を信号光受信手段等に接続すれば、信号光の監視も行うことが可能となり、信号光と自然放出光の両方を監視できる光通信システムの構築を図ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光増幅器の第1実施形態例を示す要部構成図である。

【図2】上記実施形態例の光反射手段を示す構成図である。

【図3】本発明に係る光増幅器に用いられる光反射手段を示す構成図である。

【図4】本発明に係る光増幅器の第3実施形態例を示す

10

20

30

40

50

17

要部構成図である。

【図 5】 本発明の光増幅器の他の実施形態例に用いられる光反射手段を示す説明図である。

【図 6】 従来の光通信システムの一例を示す説明図である。

【図 7】 従来の光通信システムに用いられる光増幅器の一例を示す説明図である。

【符号の説明】

3 光サーキュレータ

18

4, 4a, 4b エルビウムドープファイバ

5, 5a, 5b 分散補償光ファイバ

6a, 6b 励起光反射体

8a, 8b 光反射手段

12 励起光反射膜

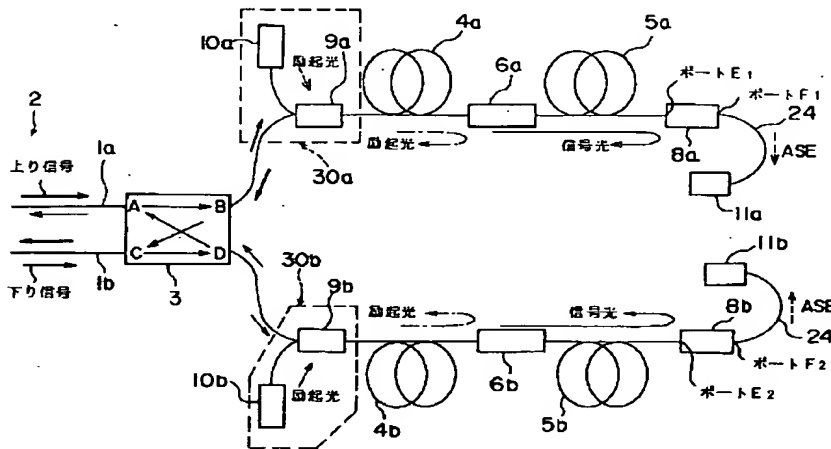
13 光狭帯域フィルタ

18 信号光一部透過膜

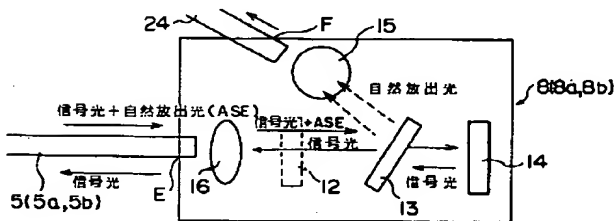
20 光帯域通過フィルタ

30a, 30b 励起光導入手段

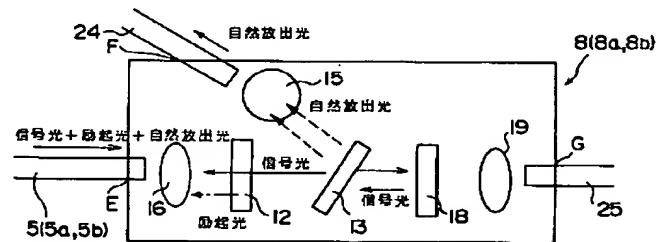
【図 1】



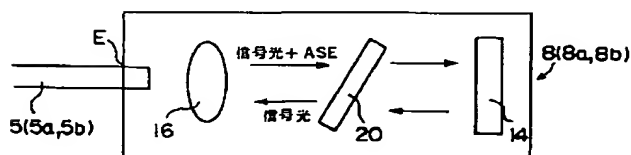
【図 2】



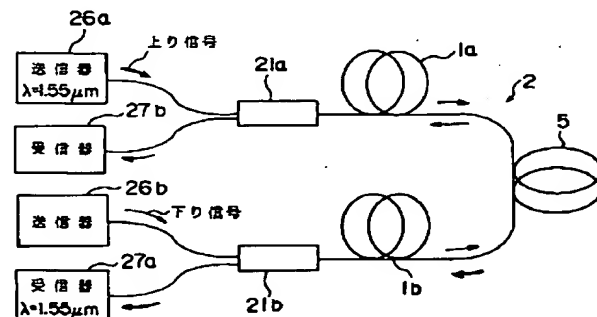
【図 3】



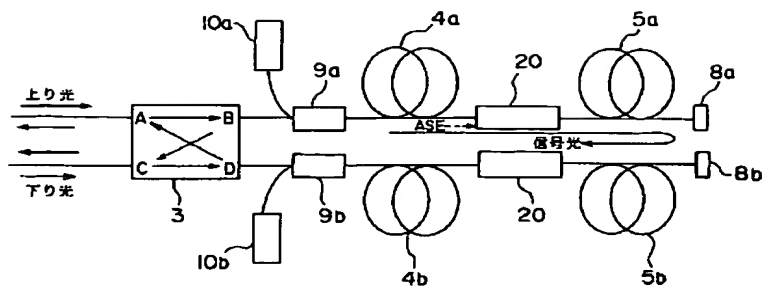
【図 5】



【図 6】



【図 4】



【図 7】

